XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/115

SISTEMA INTEGRADO DE MITIGAÇÃO DE QUEDA DE BLOCOS EM ENCOSTA URBANIZADA: ESTUDO DE CASO DO MORRO DO QUETO (RJ)

Maria Luisa de Faria Simões
Engenheira Civil, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, marial.simoes@prefeitura.rio

Rodrigo Ferreira França
Geólogo, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, rodrigo.franca@prefeitura.rio

Mariana Duarte dos Santos
Engenheira Geotécnica, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, m.dsantos@prefeitura.rio

Silvio Araujo da Silva
Engenheiro Civil, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, s.araujojds@gmail.com

Marcus Bergman
Engenheiro Geotécnico, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, marcus.bergman@prefeitura.rio

RESUMO: O presente trabalho apresenta o estudo de caso das intervenções geotécnicas executadas na encosta a montante da cota 60,00 na Comunidade Morro do Queto, bairro do Sampaio, município do Rio de Janeiro (RJ). A área caracteriza-se por encosta íngreme com afloramentos rochosos intercalados por colúvio e solo residual, além de ocupação urbana consolidada a jusante. A concepção das intervenções não decorreu de abordagem preventiva genérica, mas de resposta técnica estruturada frente a um cenário recorrente de rolamento e queda de blocos na região. A estratégia adotada baseou-se na setorização da encosta segundo criticidade e energia potencial estimada, resultando na implantação de sistema integrado composto por barreiras dinâmicas de 100 kJ e 2000 kJ, muretas chumbadas, contrafortes ancorados e remoção controlada de blocos. Os resultados evidenciam que a combinação entre estabilização na origem e interceptação por níveis diferenciados de energia de acordo com os volumes e risco de rolamento dos blocos proporcionou solução robusta e adaptada à realidade urbana local, com potencial de replicabilidade em áreas com características geomorfológicas semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: queda de blocos; barreira dinâmica; contenção em encosta; risco geológico; área urbana.

ABSTRACT: This paper presents the case study of geotechnical interventions implemented on the slope above elevation 60.00 m at Morro do Queto community, in Rio de Janeiro, Brazil. The area is characterized by steep rocky outcrops interbedded with colluvium and residual soil, with consolidated urban occupation at the toe of the slope. The adopted design was not a generic preventive measure, but a technical response to recurrent rockfall events recorded in the region. The mitigation strategy was based on slope sectorization according to criticality and estimated potential energy, resulting in an integrated system composed of 100 kJ and 2000 kJ dynamic barriers, anchored retaining walls, buttresses and controlled rock removal. The results indicate that the combination of source stabilization and energy-based interception using barriers with different energy absorption capacities according to block volumes and rockfall trajectories provided a robust and site-adapted solution, with potential replicability in similar urbanized slopes.

KEYWORDS: rockfall; dynamic barrier; slope stabilization; geotechnical risk; urban area.

1 INTRODUÇÃO

Instabilidades em encostas rochosas urbanizadas representam desafio recorrente na cidade do Rio de Janeiro, onde a ocupação consolidada se desenvolve em áreas de relevo acentuado. A presença de blocos parcialmente destacados, associada ao fraturamento do maciço e processos de intemperismo, favorece mecanismos de queda e rolamento com elevado potencial destrutivo.

A Comunidade Morro do Queto, localizada no bairro do Sampaio, apresenta encosta rochosa a montante da cota 60,00 com registros de instabilidades e exposição direta de edificações situadas a jusante. A concepção das intervenções descritas neste trabalho não se deu como medida preventiva genérica, mas como resposta técnica estruturada frente a um cenário recorrente de eventos de queda de blocos na região.

O objetivo deste artigo é apresentar os critérios adotados na definição das soluções, incluindo a setorização por energia potencial e as simulações de queda de blocos, e discutir a eficácia da abordagem integrada implementada.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A comunidade denominada Morro do Queto ocupa um morro a Norte do Maciço da Tijuca e encontra-se em uma vertente convexo-retilínea e faz limite a Sudoeste com a Comunidade Morro da Matriz. O desnível topográfico desta área é de 80 m e sua declividade média varia entre 35 – 50 graus, ocupando uma área total de 351.000 m². As litologias encontradas na região são o Gnaisse Migmatítico e o Granito Favela.

Ao longo das encostas da comunidade são observadas algumas porções com a presença de solo coluvionar pouco espesso (até 1,5 m), contudo na maior parte são observados afloramentos rochosos de granito (topo, meia encosta e paredão próximo ao antigo lixão) além de depósito de tálus e/ou blocos isolados de tamanhos variados, dispostos ao longo de toda a área de estudo.

A área de intervenção, a montante da cota 60,00 m, situa-se em encosta íngreme com afloramentos rochosos intercalados por colúvio e solo residual. Observam-se blocos isolados e volumes parcialmente destacados, com fraturas abertas e indícios de movimentação prévia.

A ocupação urbana consolidada impõe restrições relevantes ao projeto, incluindo proximidade imediata de moradias, limitação de acessos e necessidade de controle rigoroso de segurança durante execução.

A distribuição espacial das intervenções propostas encontra-se ilustrada na Figura 1.

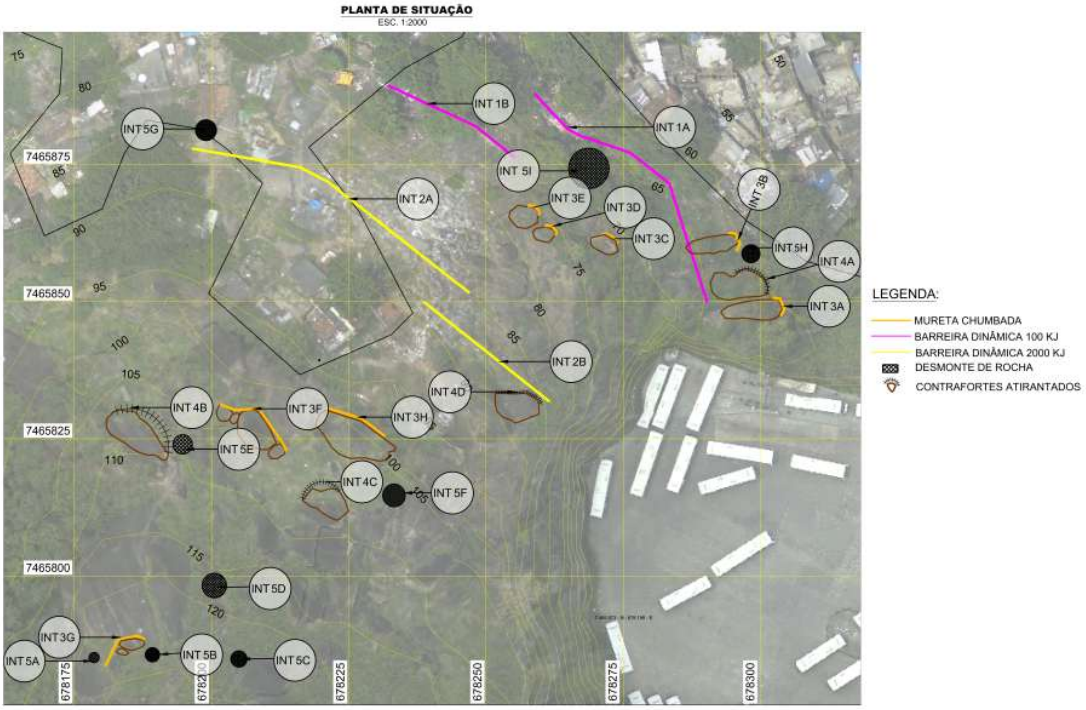


Figura 1 – Planta geral das intervenções geotécnicas a montante da cota 60,00 m.

2.1 Histórico de ocorrências

A análise dos laudos de vistoria da GEO-RIO, compreendendo os períodos de 1986-2010 e 2010-2021, identificou 28 ocorrências nos morros do Queto e da Matriz — áreas vizinhas que compartilham características geomorfológicas semelhantes. Dos registros, destacam-se os deslizamentos de blocos como o evento predominante (50%), seguidos por deslizamentos de terra e processos erosivos (30%) e fatores antrópicos (20%).

No Morro São João, também integrante do Maciço da Tijuca e situado a nordeste do Morro da Matriz, o levantamento para os mesmos intervalos (1986-2010 e 2010-2021) totalizou 88 ocorrências. Nesse caso, o perfil de eventos é dominado por deslizamentos de terra (48%), seguidos por queda de blocos (23%), processos erosivos (15%) e fatores antrópicos (14%).

A análise integrada entre histórico de ocorrências e diagnóstico geológico permitiu classificar a encosta segundo níveis de criticidade, orientando a aplicação de tipologias estruturais compatíveis com a energia potencial envolvida.

3 METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO E SETORIZAÇÃO

O diagnóstico baseou-se em inspeções técnicas de campo com identificação e classificação visual dos blocos instáveis. Foram considerados:

- Geometria do talude;
- Altura potencial de queda;
- Massa estimada dos blocos;
- Condições de fraturamento;
- Grau de exposição das edificações.

A partir desses parâmetros, a encosta foi setorizada segundo criticidade e energia potencial estimada, orientando a escolha das soluções estruturais de forma diferenciada ao longo da área.

3.1 Simulações complementares de queda de blocos

As estimativas de energia potencial foram complementadas por simulações numéricas de queda de blocos realizadas com o software RocFall, considerando perfis representativos dos setores mais críticos da encosta. Nas simulações, foram adotadas massas típicas de blocos obtidas a partir de estimativas de volume em campo, alturas de queda compatíveis com a topografia local e parâmetros de rugosidade/salto definidos a partir da observação do maciço e do material coluvial.

Para cada setor analisado, foram obtidas grandezas como energia cinética máxima e média na zona das barreiras, alturas de impacto e velocidades de chegada, permitindo verificar a compatibilidade entre as energias simuladas e as capacidades nominais das barreiras de 100 kJ e 2000 kJ.

Tabela 1 – Correlação entre mecanismos observados e soluções adotadas

Evento Observado	Características	Solução Adotada	Objetivo
Rolamento de blocos de médio porte (até 320kg)	Altura moderada e trajetória definida	Barreira 100 kJ	Interceptação complementar
Rolamento de blocos de grande porte (até 6,4 ton.)	Alta energia potencial	Barreira 2000 kJ	Dissipação de energia e proteção principal
Blocos individualizados instáveis	Destacamento incipiente	Mureta chumbada	Estabilização na origem
Instabilidade estrutural localizada	Maciço fraturado	Contraforte ancorado	Estabilidade global
Blocos inviáveis para estabilização	Geometria desfavorável	Remoção controlada	Eliminação da massa instável

Os resultados das simulações reforçaram a setorização proposta e corroboraram a seleção das tipologias de barreira adotadas em cada trecho da encosta.

A definição das tipologias estruturais não foi arbitrária, mas vinculada aos mecanismos identificados e ao histórico de ocorrências. A tabela 1 sintetiza essa correlação.

4 CONCEPÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE MITIGAÇÃO

A estratégia adotada para mitigação do risco combinou intervenções na origem com sistemas de interceptação, criando redundância funcional.

4.1 Barreiras dinâmicas

As barreiras dinâmicas foram construídas para reter blocos de rocha e/ou deslizamentos de solo provenientes da encosta, absorvendo os esforços e a energia associada ao movimento e garantindo adequada segurança à área.

4.1.1 Barreiras dinâmicas de 2000 kJ

As barreiras de 2000 kJ foram implantadas nos setores de maior energia potencial, com altura aproximada de 4,0 m e extensão da ordem de 100 m.

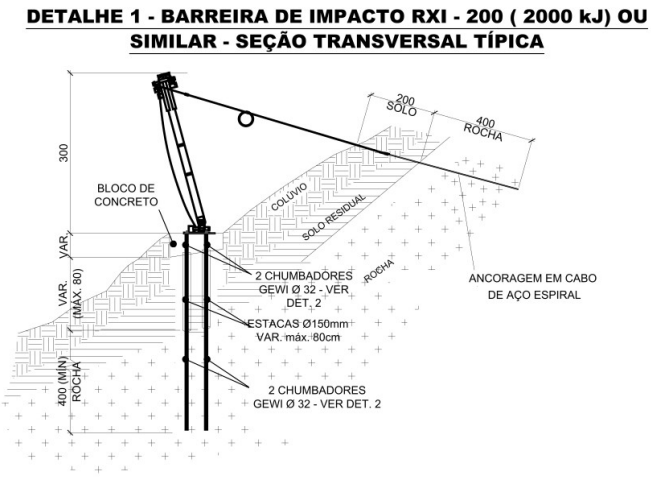


Figura 2 – Seção transversal típica da barreira dinâmica de 2000 kJ.

4.1.2 Barreiras dinâmicas de 100 kJ

As barreiras de 100 kJ foram aplicadas em setores de menor energia ou como complemento de interceptação.

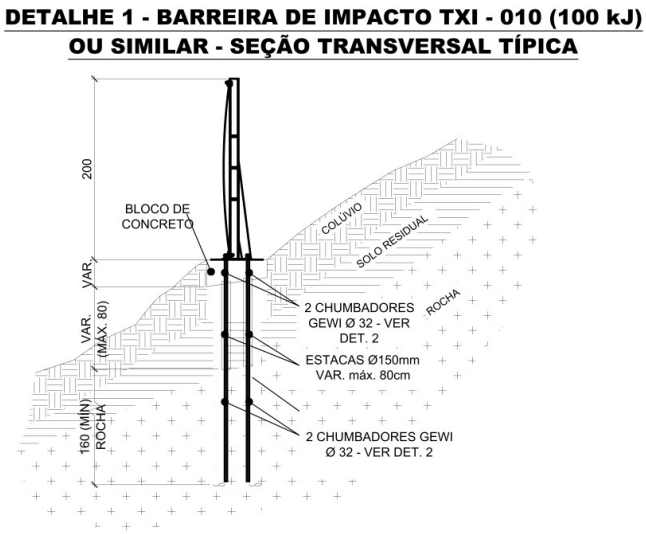


Figura 3 – Seção transversal típica da barreira dinâmica de 100 kJ.

4.2 Muretas chumbadas

Para estabilização pontual de blocos individualizados foram executadas muretas chumbadas. Uma solução de contenção em que um painel vertical em concreto armado contendo armaduras nas direções horizontais e verticais é utilizado para resistir aos esforços de flexão devido ao empuxo do bloco arrimado. Ao longo do painel e espaçados entre si, utilizam-se chumbadores que são elementos verticais de aço devidamente engastados na base rochosa de apoio do bloco, com nata de cimento.

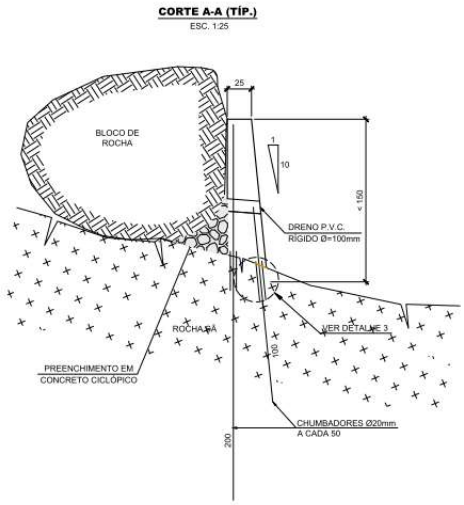


Figura 4 – Corte típico de mureta chumbada com dreno em PVC.

4.3 Contrafortes ancorados

Nos setores com necessidade de contenção pontual de blocos maiores, foram executados contrafortes ancorados. Neste caso, blocos/lascas de rocha instáveis foram fixados através de contrafortes ancorados no maciço rochoso por meio de tirantes. O bloco de rocha fica em contato direto com o contraforte, por isso os vazios entre o bloco e a estrutura foram preenchidos com concreto de regularização. Este tipo de estrutura garante segurança à jusante desta contenção, atenuando o risco de quedas de blocos/lascas rochosas.

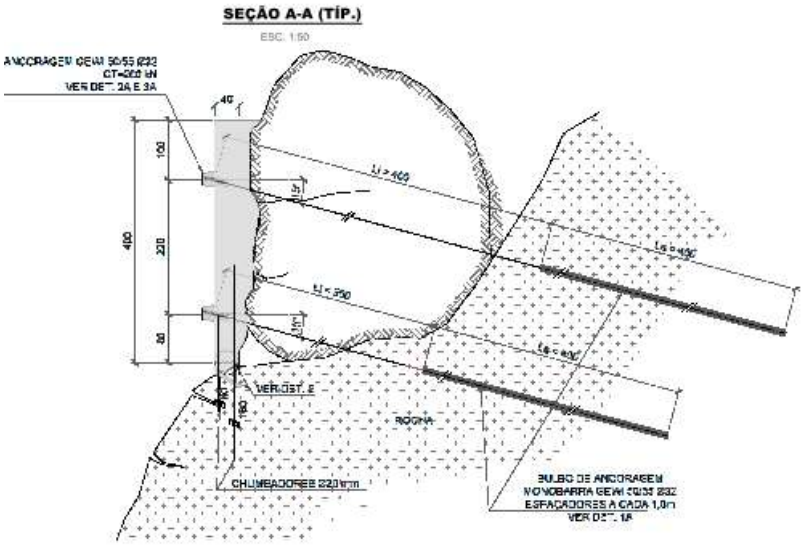


Figura 5 – Corte típico de contraforte ancorado.

4.4 Remoção controlada de blocos

Nos casos dos blocos identificados como inviáveis para estabilização, foi feito o desmonte de forma controlada, reduzindo a massa instável na origem.

5 DESAFIOS EXECUTIVOS

A execução das intervenções ocorreu em ambiente de elevada complexidade operacional, caracterizado pela presença simultânea de ocupação urbana consolidada, grande quantidade de blocos rochosos distribuídos ao longo da encosta e extensas áreas de depósito de material antropogênico, resultante de antigas ocupações e lançamentos de resíduos.

A implantação das estruturas exigiu compatibilização constante entre as condições previstas em projeto e as situações efetivamente encontradas em campo. Em diversos trechos, a presença de blocos de diferentes dimensões, parcialmente aflorantes ou inseridos em depósitos superficiais heterogêneos, demandou ajustes de locação e adequações executivas para viabilizar a implantação das intervenções.

Dentre os desafios enfrentados, destaca-se a implantação das barreiras de impacto entre moradias atendendo aos seus requisitos técnicos tais como: distância entre postes, curso de frenagem máximo, diferenças de níveis entre as bases dos postes e mudanças de direção dos cabos de ancoragem. Os comprimentos de ancoragem foram ajustados conforme condições reais encontradas durante a perfuração, assegurando o embutimento em rocha sã suficiente para resistir as forças de ancoragem atuantes em cada tipo de barreira.

Outro aspecto relevante foi a necessidade de execução dos serviços em encosta íngreme, com circulação restrita e transporte manual de materiais e equipamentos por longos percursos. A presença de moradias próximas às áreas de intervenção também exigiu planejamento específico das atividades, especialmente durante as etapas de remoção controlada de blocos e movimentação de materiais, visando minimizar riscos operacionais e interferências para os moradores.



Figura 6 – Fotos de drone antes das intervenções.

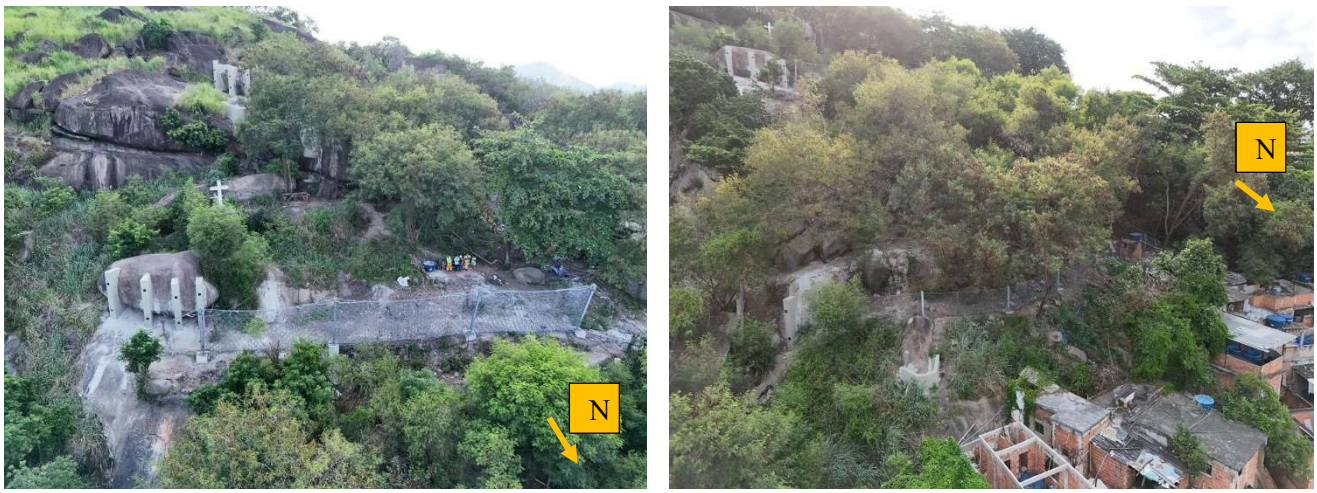


Figura 7A – Visão geral das intervenções do trecho superior e 7B - Visão geral das intervenções do trecho inferior.

6 DISCUSSÃO

O sistema implantado foi dimensionado a partir da conjugação entre histórico recorrente de eventos e avaliação técnica do maciço, complementada por simulações de queda de blocos que permitiram estimar, de forma mais objetiva, as energias incidentes sobre as barreiras.

A diferenciação entre barreiras de 100 kJ e 2000 kJ decorreu da necessidade de responder a cenários reais já observados, e não apenas a hipóteses conservadoras, buscando compatibilizar segurança e viabilidade executiva em ambiente urbano restrito.

A combinação entre estabilização na origem, contenção estrutural e interceptação por diferentes níveis de energia resultou em solução tecnicamente consistente e adaptada às restrições urbanas.

Embora o período de observação pós-implantação ainda seja relativamente curto, foi estabelecida estratégia de acompanhamento baseada em inspeções técnicas periódicas das estruturas executadas e das condições gerais da encosta. As atividades de monitoramento contemplam a verificação das condições das barreiras dinâmicas, muretas chumbadas e contrafortes, bem como a observação de possíveis alterações na geometria da encosta, surgimento de novos blocos potencialmente instáveis e evolução de processos superficiais associados ao escoamento das águas pluviais.

Como ferramenta complementar, deverão ser realizadas campanhas de imageamento com aeronaves remotamente pilotadas (drones), permitindo a documentação sistemática da área e a comparação temporal das condições da encosta e das intervenções implantadas. Essa abordagem auxiliará na identificação precoce de

alterações relevantes e contribuirá para a construção de um histórico evolutivo do comportamento do maciço ao longo do tempo.

Considerando a elevada concentração de blocos rochosos existentes na encosta e a dinâmica natural dos processos de intemperismo em maciços tropicais, o acompanhamento contínuo constitui etapa fundamental para avaliação do desempenho das soluções implantadas e para eventual definição de medidas complementares de mitigação.

7 CONCLUSÕES

A mitigação de queda de blocos em encostas urbanizadas exige abordagem integrada e baseada em evidências de campo, histórico de eventos e análises complementares de energia.

O estudo de caso do Morro do Queto demonstra que a setorização por criticidade, associada ao histórico de ocorrências e à diferenciação por energia potencial e energia cinética simulada, permite dimensionamento mais preciso e eficiente.

O modelo adotado apresenta potencial de replicabilidade em áreas com condições geomorfológicas semelhantes, reforçando a importância da integração entre diagnóstico geológico, critérios de energia, simulações de queda de blocos e soluções estruturais escalonadas.

Apesar do curto tempo desde a implantação, o sistema foi concebido com previsão de monitoramento e manutenção, o que deverá permitir, em trabalhos futuros, a avaliação quantitativa do desempenho a médio e longo prazos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE (2016) Manual de Taludes e Encostas. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629. Tirantes ancorados no terreno – projeto e execução. Rio de Janeiro

DORREN, L. K. A. (2003) *A Review of Rockfall Mechanics and Modelling Approaches*. Progress in Physical Geography.

FARIA, A.; FERNANDES, N.; AMARAL, C. (2011) Movimentos de Massa em Encostas. Oficina de Textos.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. (2003). Movimentos de Massa no Brasil. In: Guerra & Cunha – Geomorfologia.

FUNDAÇÃO GEO-RIO. (2020). Manual de Monitoramento e Estabilidade de Encostas Urbanas. Prefeitura do Rio de Janeiro.

GERSCOVICH, D. M. S. (2016). Estabilidade de Taludes. Oficina de Textos.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. (1984). Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blucher.

HUNGR, O.; EVANS, S.; BOVIS, M.; HUTCHINSON, J. (2001). A Review of the Classification of Landslides. Canadian Geotechnical Journal.

ROCSCIENCE (2018) RocFall – User Manual. Rocscience Inc.

VOLKWEIN, A.; SCHEULER, C.; GERBER, W. (2011). Rockfall Characterisation and Structural Protection – A Review. Natural Hazards and Earth System Sciences.